DOI:10.24850/j-tyca-2018-03-06

Artículo

Evaluación del porcentaje de apertura de orificio del tubo vórtice respecto de la eficiencia de retención de sedimentos en condiciones de laboratorio

Evaluation of vortex tube orifice percentage on sediment trap efficiency in laboratory conditions

Ali Asareh[1]

Amirabbas Kamanbedast[2]

[1]Department of Water Science and Engineering, Ahvaz Branch, Islamic Azad University, Ahvaz, Irán

[1]Department of Water Science and Engineering, Ahvaz Branch, Islamic Azad University, Ahvaz, Irán

Autor de correspondencia: Ali Asareh, ali_assareh_2003@yahoo.com

Resumen

La falta de familiaridad con los problemas de sedimentación en la cuenca ha demorado una gran cantidad de proyectos durante su desarrollo, trayendo consigo altos costos. Por lo general se utiliza para prevenir la entrada de sedimento que se desplaza como carga de lecho en las corrientes y ríos que se dirigen hacia la cuenca. Diversos métodos, como el aumento del nivel del lecho de la cuenca, el montaje de la pared del suelo o placas sumergidas para eliminar el sedimento de la entrada, y el desarenador (pileta de sedimentación), se emplean en la utilización del tubo vórtice. Dado que muchas variables son efectivas en la retención de sedimentación y la pérdida de agua del tubo vórtice, el objetivo de este estudio fue evaluar el rendimiento del tubo vórtice *in vitro* en una descarga controlada con cuatro proporciones de ancho de la hendidura del tubo al diámetro (t/d), 0.15, 0.20, 0.25 y 3.0 en un ángulo de 45 grados con diferentes descargas. Los resultados demostraron que en la proporción t/d = 0.25, se retuvo un total de 43.2 kg de sedimento, lo cual equivale a 84.16% del total de sedimentación ingresado al sistema; y en

proporción *t*/*d* = 0.3, 36.02 kg de sedimentos fueron retenidos, en equivalencia a 84.43% del total de sedimentos ingresados al sistema. Con un incremento del porcentaje *t*/*d*, el proceso de retención de sedimento tendrá una tendencia creciente. En este índice, la mejor opción resulta ser *t*/*d* = 0.3. No obstante, si el suministro de agua es de extrema importancia en una región y existe escasez de agua, dado que en *t*/*d* = 0.3, el desvío de descarga es de un 13.88% y en *t*/*d* = 0.25, el desvío de descarga resulta ser de un 11.62%; una mejor opción será *t*/*d* = 0.25.

Palabras clave: tubo vórtice, retención, porcentaje de orificio, sedimento, el número de Froude.

Abstract

Unfamiliarity with sediment problems in the watershed has outdated a number of projects during their work, brought up heavy costs. Usually it is tried to prevent entering the sediment that moves as bed load in the rivers to the basin that methods such as increasing the basin bed level, mounting floor wall or submerged plates for removing sediment from the inlet, and silting basin, using vortex tube include such methods. Since lots of variables are effective in sediment trapping and loss of vortex tube water, the aim of this study was to evaluate the performance of vortex tube in vitro and controlled discharge with four ratio of tube slit width to diameter (*t*/*d*), 0.15, 0.20, 0.25 and 3.0 at an angle of 45 degrees with different discharges. The results showed that in the ratio *t*/*d* = 0.25, 43.2 kg of total sediment were trapped which is equal to 84.16% of the total sediment entering the system and in *t*/*d* = 0.3, 36.02 kg of total sediments are trapped which is equal to 84.43% of total sediments entering the system. With increasing *t*/*d* percent, sediment trap process will have an increasing trend. In this index, the best option is *t*/*d* = 0.3. But if water supply is very important in a region and water shortage is basically existed, given that in *t*/*d* = 0.3, the diversion discharge is 13.88% and in *t*/*d* = 0.25, the diversion discharge is 11.62%. A better option is *t*/*d* = 0.25.

Keywords: vortex tube, trapping, orifice percentage, sediment, the Froude number.

Recibido: 21/12/2016

Aceptado: 01/12/2017

Introducción

Por lo general se intenta prevenir la introducción de sedimentos cargados que se mueven en el lecho del río en la cuenca. Los métodos tienen que ver con aumentar el nivel del suelo de la cuenca, instalar las paredes del suelo o paneles sumergidos para eliminar el sedimento de las aberturas de la cuenca, el estanque de sedimentos y el uso de un tubo vórtice.

Incluso con el diseño de estas estructuras y debido al número fijo de ellas así como por la variación de las condiciones hidráulicas —sobre todo en situaciones de inundación con un gran volumen de sedimentación—, la posibilidad de ingresar el sedimento del lecho durante las inundaciones a la cuenca es definida.

Por lo tanto, es necesario diseñar estructuras simples y económicas que puedan separar el sedimento del lecho y dirigirlo hacia el río.

Si no se tienen en cuenta los sedimentos que ingresan a las cuencas y se transportan a la instalación, se producen muchos problemas como resultado de transportar sedimentos o depositarlos en diferentes partes.

El sedimento transferible depende en gran medida de la cantidad de sedimentos en el área de captación y las características del río. Si el caudal es bajo en partes del sistema de transmisión, en especial en sistemas con agua gravitacional (de modo que el flujo de agua no puede mantener el material transferido en estado suspendido), se forman depósitos adicionales en los canales. Esta acción comienza desde la cuenca y se extiende de modo gradual por todo el sistema. Debido a la pendiente de los canales, éstos se colapsan y con el aumento del fondo del canal, su altura libre disminuye y al final también baja la capacidad de suministro de agua. Por esta razón, el control de sedimentos a la entrada de la cuenca es de gran importancia.

Uno de los nuevos métodos de sedimentación es el uso de un tubo de vórtice de los caudales de los ríos, que es económico debido a su pequeño tamaño, en comparación con los estanques de sedimentos rectangulares convencionales y que puede explotarse de modo continuo.

Este método de control de sedimentos se basa en el uso de la fuerza de rotación y la gravedad de las partículas de sedimentos. Este tipo de sedimento se usa en casos donde la concentración de carga del piso es alta para el lavado continuo de sedimentos, y la parte principal consiste en un tubo o conducto horizontal que se incrusta dentro y debajo del canal; los sedimentos cerca del fondo del canal se transfieren hacia

afuera. Esta corriente luego se evacúa a un drenaje o cuenca de drenaje. La Figura 1 muestra la vista del sedimento del vórtice.

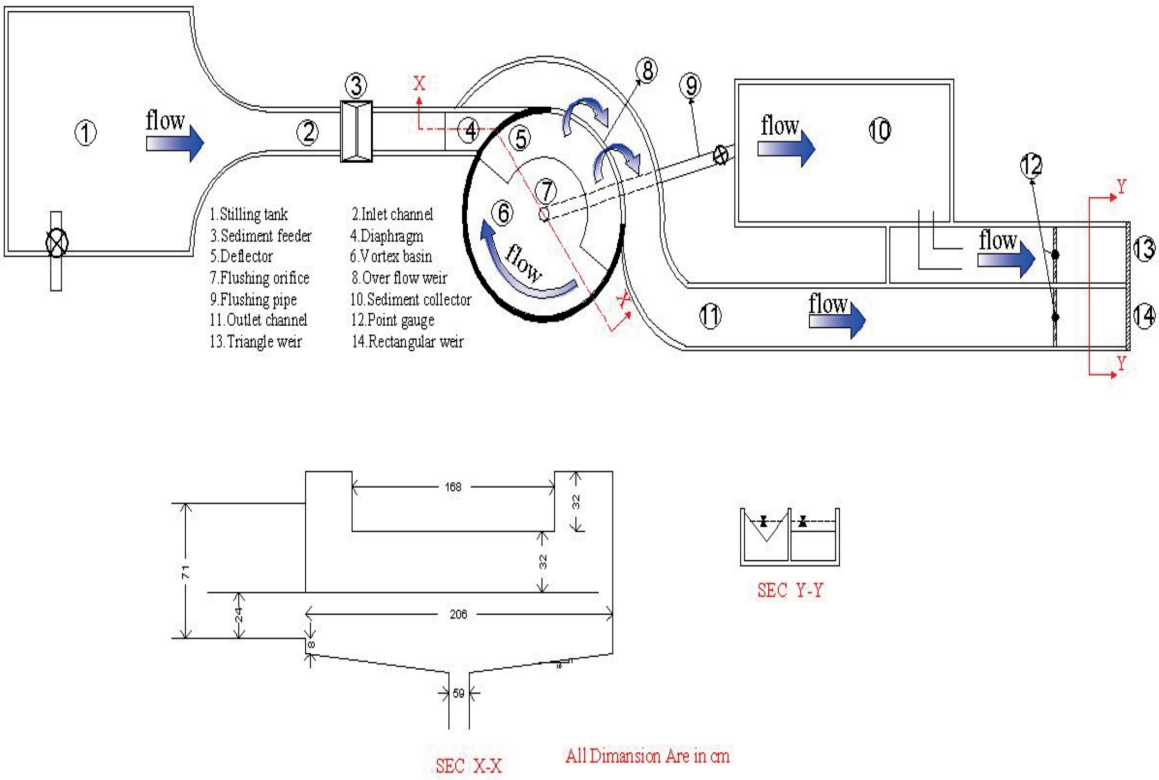

Figura 1. Vista de un tubo de vórtice.

El sedimento vértice se puede colocar cerca de la instalación de desagüe o a una distancia suficiente del fondo de la instalación, donde la distribución de los sedimentos está en equilibrio.

La idea de utilizar un sedimento tubular en condiciones ambientales adecuadas tiene ventajas y desventajas, en comparación con los diferentes métodos de sedimentación, pues todo el trabajo se lleva a cabo en una sección completamente controlada. En esta estructura, el agua entra en una deposición de vórtice bajo un ángulo y crea un fuerte vórtice en el eje de la tubería y genera un flujo de vórtice. El flujo dentro del tubo es controlado por una válvula abajo y luego se vacía en un canal. El sedimento vértice produce una alta eficiencia cuando hay una carga suspendida baja y una carga del suelo significativa.

Sin embargo, incluso cuando hay una carga suspendida alta, se ha registrado un buen rendimiento. Parshall (1951) se puede considerar como el iniciador de este proyecto. Blench (1952) argumentó que el sedimento del vórtice se usa para canales grandes con una capacidad de

flujo de 280 m^3/s (1 000 $pies^3/s$). Robinson (1962) y Ahmed (1962) señalan el número de aterrizaje (0.8 $v/\sqrt{gh}$) en el canal. Parshall (1952) observó que la eficiencia más baja ocurre cuando el número de aterrizaje es 1. Atkinson (1994) llevó a cabo una investigación sobre el ángulo del tubo (θ) y la relación entre el tubo y la tubería (t/d), que mostró que la velocidad tangencial dentro del tubo es máxima cuando el tubo está a 90 ºC o más. En relación con la ruta de flujo y la relación (t/d) es baja (unos 0.3 o menos).

Nickmehr, Farhoudi y Omid (2010) examinaron los parámetros que afectan el flujo del tubo del condensador vórtice, tales como velocidad tangencial, velocidad de cierre y pérdida de energía, con flujo de salida controlado y sin control (libre) en canales de riego. Su investigación con cuatro anchos relativos de la entrada de ranura al diámetro de la tubería (t/d) fue de 0.15, 0.2, 0.25 y 0.3, y fue afectada por cuatro tasas de descarga controlada de 2.5, 5, 5/7% y 10%, respectivamente. Los resultados mostraron que cuando la relación entre el espacio de entrada de los sedimentos y el diámetro de la tubería es igual a 0.15, los parámetros efectivos para atrapar los sedimentos se encuentran en condiciones controladas y no controladas en condiciones óptimas. Muazzen y Shafaei-Bajestan (2003) intentaron investigar el efecto de variables, como el diámetro de la tubería y el ángulo de la tubería en diferentes condiciones hidráulicas. Los resultados del estudio mostraron que la eficiencia de trampeo depende del caudal, por lo que al aumentar el número de desembarco, la eficiencia de trampeo primero aumentó y luego disminuyó. La eficiencia máxima de captura fue 0.6. Las pérdidas de agua también bajaron con el aumento de los números de desembarco, con la mayor pérdida del 8.5% para el número de desembarque de 0.2 y la menor de 4% para el número de desembarque de 0.91. La tasa de pérdida de agua para el número de aterrizaje fue de 0.6 a 0.8, hasta un máximo de 7%.

Considerando las muchas variables en la tasa de atrapamiento de sedimentos y la tasa de pérdida de agua en la tubería de vórtice, el propósito de este estudio fue evaluar el funcionamiento del tubo de sedimentación de vórtice en condiciones de laboratorio y el caudal controlado con cuatro proporciones de distancia entre tubería y diámetro de tubería (t/d), 15/0, 20/0, 0.25 y 0.3, en un ángulo de 45° con los caudales diferentes.

Materiales y métodos

Los experimentos en este estudio, en el laboratorio de Islámica Azad University, Ahvaz, situada en Chanibe, Irán, para examinar el efecto de la proporción de la apertura de tubo de vórtice con el diámetro de la tubería (*t*/*d*) sobre la eficiencia del atrapar sedimentos en cuatro *t*/*d* diferente y en cuatro velocidades de flujo distintas, canal con la longitud de 13 m, la anchura de 50 cm y la profundidad de 60 cm, se planificó. Para realizar las pruebas hidráulicas, el flujo de agua se limpió por completo primero, para garantizar que el flujo de agua en el canal fuera transparente y visible, y luego el tanque terrestre se deshidrató utilizando un camión cisterna de agua. Después de la ventilación, la llama principal de canal se ilumina y después de un tiempo —y para asegurar que el flujo se haya inundado desde el depósito de aire del laboratorio—, la válvula abrirá la entrada de agua a canal para permitir que el agua ingrese al canal principal. La válvula de entrada se abrió lo suficientemente cerca para proporcionar el caudal deseado. Después de un periodo de flujo, se introdujo un flujo a través de un canal de 13 metros en la cuenca en el fondo y se midió mediante un desbordamiento triangular en un ángulo de 60°. El flujo de salida del tubo de hendidura, que se transmitió a través de un canal de 3.5 metros al depósito de tierra, se midió mediante un desbordamiento triangular de 90 grados. La Figura 2 muestra una vista de desbordamiento de 90 grados.

Figura 2. Medición de desbordamiento de 90 ° de la salida de caudal del tubo de vórtice.

La suma de las dos caudales mencionados antes es la velocidad de flujo al canal. Sin embargo, si difiere con la velocidad de flujo, la válvula de entrada se abrió o se cerró para igualar el caudal con lo deseado. En las mismas condiciones, con la seguridad sobre la fijeza del fluido, de nuevo la profundidad de flujo de los tubos descendentes del canal, ascendentes,

de entrada, de salida y descendentes del tubo ventral se determinó por la regla instalada en el cuerpo del canal, así como por el flujo del canal y el caudal que fluye desde la entrada. El medidor de profundidad milimétrica fue cosechado.

Con respecto a las limitaciones en el laboratorio y la descarga de la bomba, los experimentos se realizaron con un caudal máximo de 20 l/s y al menos 10 l/s 10. En este estudio, para examinar el efecto de la apertura del tubo vórtice al diámetro del tubo (*t*/*d*) en la eficiencia de la trampa de sedimentos, cuatro velocidades de flujo de entrada de 10, 13, 15 y 20 litros por segundo, y con la misma relación *t*/*d* 0,15, 0,25 y 0,3 se planificaron y se midieron los valores de caudal de desviación y las profundidades del agua en los puntos mencionados anteriormente. Para calmar la entrada del fluido de la bomba al canal, se utilizó un tubo de celosía para depreciar la energía del agua. Según la recomendación de Radkoviwatma (1983), para prevenir la formación de la madurez, el diámetro de las partículas debería ser 0.7 milímetros más grande. Con alrededor de un milímetro, se eligió la desviación estándar de 1/3; se obtuvieron su gradiente y su gravedad específica, y se usaron en una capa de unos 3 cm de espesor para llevar a cabo los experimentos.

La curva de granulometría se representa en la Figura 3 y su proceso de laboratorio se representa en la Figura 4.

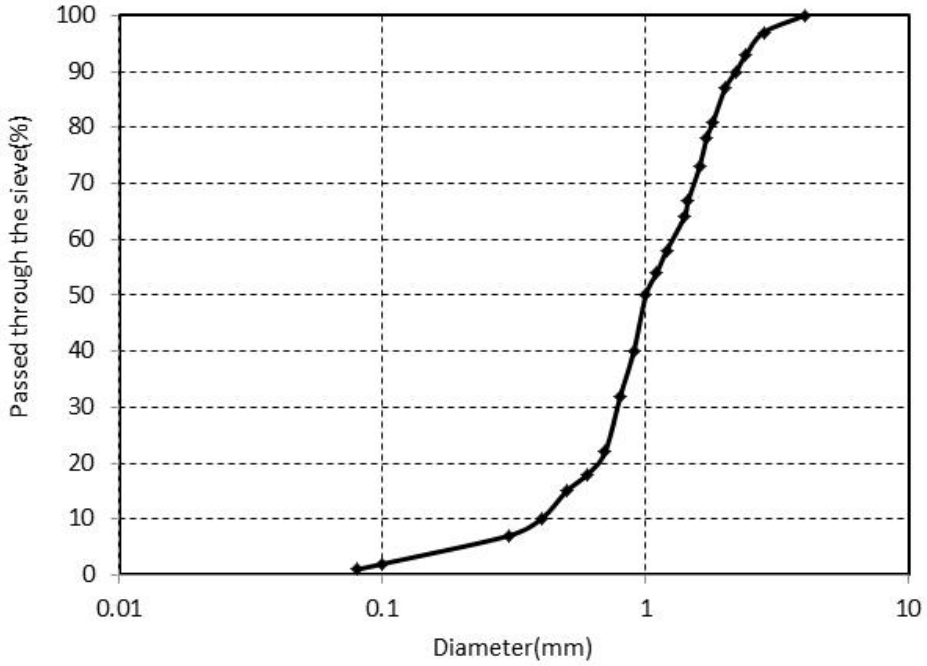

Figura 3. Curva de granulometría.

Figura 4. Proceso de laboratorio de curva de granulometría.

Para medir la abundancia de sedimentos, cada prueba se usó a partir de una placa cuadriculada, cuyo diámetro era menor que el de la cuadrícula (Figuea 5). Los sedimentos secos se pesaron con una balanza digital en condiciones de laboratorio.

Figura 5. Tubo de salida de caudal, y sedimento de desviación y recolección de sedimento.

Para medir el transporte de sedimentos (que no estaba atrapado), al final de cada experimento, los sedimentos depositados en el fondo del canal principal y las trampas ingresadas al sistema se recolectaron, y luego los pesos secos se establecieron por la balanza digital en condiciones de laboratorio.

Resultados y discusión

Por lo general, en los experimentos, se midieron la tasa de caudal de desviación, la tasa de caudal de salida y de caudal total en litros por segundo, así como los sedimentos de desviación (trampas), las entradas al sistema y los sedimentos residuales en kilogramos. Los resultados se tienen en la Tabla 1, Tabla 2, Tabla 3 y Tabla 4.

Tabla 1. Resultados de caudal y sedimento para (*t*/*d*) igual a 0.15. *Fr* = número de Froude; *Qi* = descarga de diversión; *Qo* = descarga final; *Qt* = descarga total; *Qsi* = peso del sedimento de derivación; *Qso* = peso final del sedimento; *Qst* = sedimentos totales; *Te*% = porcentaje de sedimentos de desviación, y *we*% = pérdida de agua por ciento.

Row	***Fr***	***Qi*** **(l/s)**	***Qo*** **(l/s)**	***Qt*** **(l/s)**	***Qsi*** **(kg)**	***Qso*** **(kg)**	***Qst*** **(kg)**	***Te%***	***we%***
1	0.43	0.985	9.15	10	3.76	2.505	6.265	60.02	9.85
2	0.56	1.248	11.752	13	5.25	2.315	7.565	69.4	9.6
3	0.65	1.44	13.56	15	10.84	1.64	12.48	86.86	9.6
4	0.87	1.476	18.524	20	7.565	2.165	9.73	77.75	7.38
Promedio								73.51	9.11

Tabla 2. Resultados de caudal y sedimento para (*t*/*d*) igual a 0/2. *Fr* = número de Froude; *Qi* = descarga de diversión; *Qo* = descarga final; *Qt* = descarga total; *Qsi* = peso del sedimento de derivación; *Qso* = peso final

del sedimento; *Qst* = sedimentos totales; *Te*% = porcentaje de sedimentos de desviación, y *we*% = pérdida de agua por ciento.

Row	***Fr***	***Qi*** **(l/s)**	***Qo*** **(l/s)**	***Qt*** **(l/s)**	***Qsi*** **(kg)**	***Qso*** **(kg)**	***Qst*** **(kg)**	***Te%***	***we%***
1	0.43	1.49	8.51	10	8.6	1.65	10.25	83.9	14.9
2	0.56	1.51	11.49	13	10.92	2.05	12.97	84.19	11.62
3	0.65	1.54	13.46	15	7.5	1.1	8.6	87.21	10.3
4	0.87	1.56	18.44	20	12.1	3.4	15.5	78.06	7.8
Promedio								83.34	11.15

Tabla 3. Resultados de caudal y sedimento para (*t*/*d*) igual a 0.25. *Fr* = número de Froude; *Qi* = descarga de diversión; *Qo* = descarga final; *Qt* = descarga total; *Qsi* = peso del sedimento de derivación; *Qso* = peso final del sedimento; *Qst* = sedimentos totales; *Te*% = porcentaje de sedimentos de desviación, y *we*% = pérdida de agua por ciento.

Row	***Fr***	***Qi*** **(l/s)**	***Qo*** **(l/s)**	***Qt*** **(l/s)**	***Qsi*** **(kg)**	***Qso*** **(kg)**	***Qst*** **(kg)**	***Te%***	***we%***
1	0.43	1.55	8.45	10	11.9	2.6	14.5	82.07	15.5
2	0.56	1.57	11.43	13	10.8	1.5	12.3	87.8	12.08
3	0.65	1.6	13.33	15	9.8	0.8	10.6	92.45	10.7
4	0.87	1.65	17.35	20	10.7	3.7	14.4	74.31	8.25
Promedio								84.16	11.62

Tabla 4. Resultados de caudal y sedimento para (*t*/d) igual a 0.30. *Fr* = número de Froude; *Qi* = descarga de diversión; *Qo* = descarga final; *Qt* = descarga total; *Qsi* = peso del sedimento de derivación; *Qso* = peso final del sedimento; *Qst* = sedimentos totales; *Te*% = porcentaje de sedimentos de desviación, y *we*% = pérdida de agua por ciento.

Row	***Fr***	***Qi*** **(l/s)**	***Qo*** **(l/s)**	***Qt*** **(l/s)**	***Qsi*** **(kg)**	***Qso*** **(kg)**	***Qst*** **(kg)**	***Te%***	***we%***
1	0.43	1.58	8.42	10	6.71	1.16	7.87	85.26	15.8
2	0.56	1.872	11.128	13	9.42	1.48	10.9	88.42	14.45
3	0.65	1.968	13.03	15	11.11	1.45	12.56	88.46	13.1
4	0.87	2.43	17.57	20	7.78	2.25	10.03	77.57	12.15
Promedio								84.43	13.88

Indicador de trampa de sedimento

En los resultados presentados en las tablas anteriores, *t/d* = 0.25 y 0.3, respectivamente; la eficiencia de trampeo y la cantidad de sedimento desviado están cerca uno del otro, es decir, en la relación de *t/d* = 0.25, 43.2 kg del total de sedimento atrapado, que es igual al 16/84% del sedimento total cargado en el sistema, y en 0.3 *t/d* se han atrapado 0.33 kilogramos de sedimento total, lo que representa 84.43% del sedimento total cargado en el sistema. Es como una cuestión de precisión. Con el aumento de *t/d*, el porcentaje de precipitación (atrapamiento de sedimentos) ha ido en aumento. En este índice, la opción preferida es *t/d* = 0.3 (Figura 6).

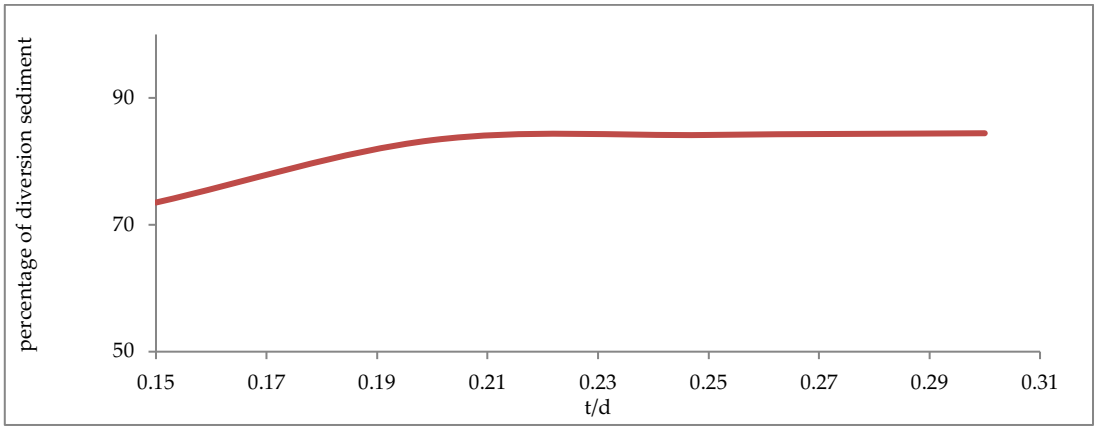

Figura 6. Efecto de (*t/d*) en el porcentaje de sedimentos de desviaciones (Te%).

Índice del caudal de desviación

Debido a la importancia del suministro de agua, uno de los criterios para evaluar los experimentos es determinar la cantidad de desperdicio de agua. Como se sabe, lleva mucho tiempo suministrar agua y transportarla al suministro de agua o canal, por lo que debe hacerse en el método de sedimentación una elección para evitar tanto como sea posible la pérdida de agua y su regreso al río. Por lo general, en un sistema de tubo de vórtice se requiere una cierta cantidad de caudal para la desviación y el agotamiento de los sedimentos, que se mide en experimentos con fluctuaciones de caudales de desviación en diferentes estados.

Como se observa en la Figura 7, en *t/d* = 0.15, alrededor del 9% del flujo total se desvía y sale del sistema, pero dado que en este *t/d* la sedimentación se realiza un poco en comparación con otras opciones (73.51% de los sedimentos) y, por otro lado, a *t/d* = 0.25, alrededor del 11% del caudal se desvía y hay mucha más sedimentación (84.14% del sedimento total), entonces en este índice la mejor opción es *t/d* = 0.25. Muazzen y Shafaei-Bajestan (2003); Farhoudi, Nikmehr y Omid (2010), y Moradi, Hasonizade, Kashkul, Moosavi-Jahromi y Sedghi (2013) declararon que la cantidad de captura de sedimentos depende del flujo.

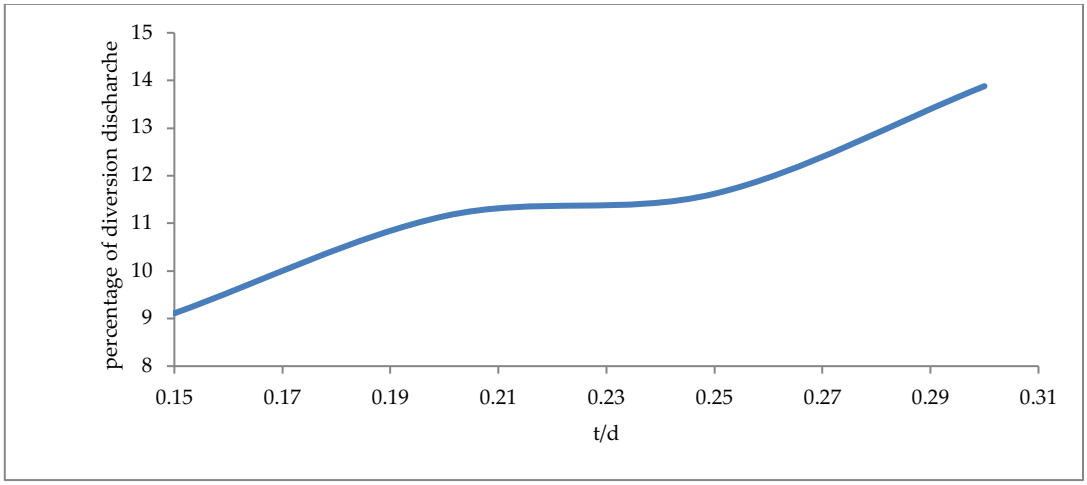

Figura 7. Efecto de (*t/d*) en el porcentaje de caudal de desviación (*we*%).

Índice de sedimentos introducidos al sistema

Con la instalación del sistema de tubería de vapor, más de 80% de los sedimentos queda atrapado y algunos sedimentos también se introducen en el suministro de agua o en el sistema de canales. Al examinar la cantidad de entradas al sistema a diferentes *t/d*, en *t/d* = 0.3, sólo 57/15% de los depósitos está conectado. En este sentido, la opción es apropiada.

Conclusión

Según los resultados del experimento, al aumentar *t*/*d*, el porcentaje de precipitación (atrapamiento de sedimentos) ha ido en aumento, pues la cantidad de agua perdida no es un factor limitante; en otras palabras, en una región con un problema de déficit de agua y suministro de agua, la introducción de sedimentos al sistema es preferible al suministro de agua; la opción preferida es *t*/*d* = 0.3; pero si el suministro de agua es muy importante en el área y básicamente hay deshidratación, entonces la mejor opción es *t*/*d* = 0.25.

Expresiones de gratitud

Los autores desean agradecer sinceramente la cooperación sin reservas de las autoridades respetadas de la Facultad de Agricultura y Recursos Naturales para compartir las instalaciones del laboratorio y el Departamento de Investigación de la Universidad Islámica Azad de Ahvaz.

Referencias

Atkinson, E. (1994). Extractores de sedimentos de vórtice-tubo. Revista de Ingeniería Hidráulica, 120(10).

Blench, T. (1952). Discusión de modelo y estudios de prototipos de trampas de arena por R L. Parshall. Trans., ASCE, 117, 213.

Farhoudi, J., Nikmehr, S., & Omid, M. H. (2010). Efecto de las propiedades geométricas de un tubo vórtice en las características del flujo. 8vo. Conferencia Internacional de Ingeniería Fluvial. Universidad Mártir Chamran, Ahvaz, Khuzestan, Irán.

Muazzen, A., & Shafaei-Bajestan, M. (2003). Evaluación del flujo hidráulico en un desmoldeador de tubo vórtice (tesis sobre instalaciones de riego). Facultad de Agricultura, Universidad de Mártir Chamran, Ahvaz, Khuzestan, Irán.

Moradi, A., Hasonizade, H., Kashkul, H. A., Moosavi-Jahromi, H., & Sedghi, H. (2013). Investigación del efecto de una estructura de tubo de vórtice con ángulos de 60 y 90 grados sobre la sedimentación en la eficiencia de la trampa con tomas a 180 grados de inclinación ubicación.

Revista Internacional de Agricultura y Ciencias de la Cultivo, 5(123), 2885-2889.

Nickmehr, S., Farhoudi, J., & Omid, M. H. (2010). Evaluación de los parámetros que afectan a la extracción de sedimentos de un tubo vórtice con descarga controlada e incontrolada (gratis). Revista de Irrigación y Drenaje, Primavera 2010.